DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Neunter Jahrgang. 2. Dezember 1921. Heft 48.

Hermann v. Helmholtz und die Augenheilkunde.

Von H. Erggelet, Jena.

Wenn man die Bedeutung *Hermanns von Helmholtz* für die Augenheilkunde behandeln will, so kann das vollständig nur geschehen, wenn vor allem der mächtigen Förderung gedacht wird, die seine Forscherarbeit dem für die Augenheilkunde grundlegenden Teil der Physiologie zuteil werden ließ. Obwohl diese Leistungen von berufener Seite gewürdigt wurden, so darf doch der Hinweis auf das „Handbuch der physiologischen Optik" nicht unterbleiben, das nun schon über ein halbes Jahrhundert *das* grundlegende Werk, die physiologisch-optische Bibel, wie es ein Diskussionsredner gelegentlich scherzhaft zu nennen sich erlaubte, unbestritten geblieben ist. Kennzeichnend für den bleibenden Wert ist die Tatsache, daß in der dritten, 1909—1911 erschienenen, von *W. Nagel* gemeinsam mit *A. Gullstrand* und *J. von Kries* besorgten Auflage der erste Helmholtzische Text unverändert wiedergegeben ist, ergänzt nur durch Zusätze der Bearbeiter.

Eine unmittelbare Wirkung auf die Augenheilkunde hat *Helmholtz* hauptsächlich durch die Erfindung des Augenspiegels ausgeübt, ferner durch die im Zusammenhang mit der Forschung des Akkommodationsvorganges entwickelte Ophthalmometrie und durch seine Arbeiten über den Farbensinn. Eine weit überragende Bedeutung kommt dem Augenspiegel zu. Seine Einführung im Jahre 1851 eröffnete ein großes, bisher vollkommen verschlossenes Gebiet der unmittelbaren Untersuchung, so daß man mit vollem Recht mit diesem Jahr einen neuen Abschnitt der Augenheilkunde beginnen läßt. Hatte man doch bisher Veränderungen des hinteren Augenabschnittes nur bei der anatomischen Untersuchung gesehen und am Kranken nur mittelbar und aus unsicheren Zeichen unklar und durchaus unvollständig vermuten können, Zustände und Veränderungen, die man jetzt am lebenden Auge feststellen lernte und dann in ihrem Verlauf verfolgen konnte. Ein Vergleich der Lehrbücher der Augenheilkunde vor und nach der Einführung des Augenspiegels gibt ein anschauliches Bild der Umwälzung. Man sehe etwa *J. C. Jüngkens* „Lehre von den Augenkrankheiten" aus dem Jahre 1842 ein oder die von *Seitz* und *Blattmann* bearbeitete deutsche Ausgabe des Handbuchs der gesamten Augenheilkunde von *L. A. Desmarres*, die zwar 1852 erschienen ist, aber noch der „spiegellosen" Zeit angehört. Was wird hier alles in dem Abschnitt Schwarzer Star, Amaurosis untergebracht, und wie eng beisammen sind die Auseinandersetzungen über Aderhaut, Netzhaut und Glaukom. Daran erinnert *F. Arlt* in seinem 1856 erschienenen Lehrbuch „Die Krankheiten des Auges für praktische Ärzte", in dem er *Ph. von Walthers* Äußerung anführt: „Amaurosis sei jener Zustand, wo der Kranke nichts sieht, und — auch der Arzt nichts." Und an einer anderen Stelle wiederholt er *Beers* Klage: „Was soll das ewige blinde Curieren einer Krankheit, die man nicht kennt." Erst wenige Jahre im Besitz des Spiegels kann *Arlt* eine ganze Reihe von Krankheitsbildern des Augenhintergrundes schildern. Mit einem Schlag ist sogar die klinische Beobachtung wieder voraus, und *Arlt* vermißt schon etwas ungeduldig, wie es fast scheinen will, eine „nur einigermaßen genügende Schilderung der anatomischen Veränderungen" des Gesehenen. Bald erscheinen in Zeitschriften, Atlanten und Lehrbüchern die Augenhintergrundsbilder, und bis zum heutigen Tag vermitteln sie immer wieder bisher unbekannte, vom Augenspiegel neu entdeckte Befunde. Abgesehen von dem Wert, den der Einblick ins Augeninnere für die Augenheilkunde an sich und die Kenntnis der Netzhaut-, Aderhaut- und Sehnervenveränderungen besitzt, mögen auch die bekannten engen Beziehungen erwähnt werden, die gerade durch die Augenhintergrundsveränderungen, sei es bei Allgemeinerkrankungen des Körpers, sei es bei Leiden der Nachbarorgane, zumal des Gehirns und der Nase, mit den übrigen Fächern der Medizin hergestellt werden. Was gibt der Augenspiegel aber der heutigen Augenheilkunde? Man würde sehr irren, wollte man glauben, die Helmholtzische Erfindung habe sich in den verflossenen siebzig Jahren voll ausgewirkt und diene heute, von vereinzelten neuentdeckten Krankheitsbildern abgesehen, lediglich als Werkzeug zur Ausübung der Praxis. Das trifft durchaus nicht zu. Die Schätze des Wissens, zu denen *Helmholtz* die Wege geöffnet hat, sind noch keineswegs restlos gehoben. Wertvolle neue Erkenntnisse lieferten z. B. in den letzten Jahren die Forschungen von *A. Vogt* und seinen Schülern, der Spiegeluntersuchungen im rotfreien Licht in ausgedehntem Maße durchgeführt hat. Während bei der üblichen Gas- oder Glühbirnenbeleuchtung von dem gesunden Netzhautgewebe infolge seiner Durchsichtigkeit nicht allzu viel zu sehen ist, hebt das durch ein Erioviridin-Kupfersulfat-Filter von Rot befreite bläulich-grün aussehende Licht *Vogts* Einzelheiten der Netzhaut besonders hervor. Das ge-

schieht einmal dadurch, daß der große von der Aderhaut herrührende Teil des aus dem Auge zurückkehrenden Lichtes gewaltig vermindert ist, der sonst den viel schwächeren, von der Netzhaut ausgehenden Anteil überstrahlt. Zum anderen wird das „Netzhautlicht" auch tatsächlich verstärkt, da das verwendete Licht der kleinen Bogenlampe vor den sonst üblichen Lichtquellen durch seinen hohen Gehalt an kurzwelligen Strahlen ausgezeichnet ist. Und gerade diese werden im Netzhautgewebe in höherem Maße als langwellige diffus zurückgeworfen. Die Netzhaut wird so bis zu einem gewissen Grad undurchsichtig gemacht. Die zum Teil auch sonst mehr oder weniger deutlichen Oberflächenspiegelungen treten hervorragend lebhaft in die Erscheinung, und zahlreiche sonst unsichtbare Reflexe erscheinen neu. Auf diese Weise konnte *Vogt* u. a. Nervenfaserzeichnung und -verlust, Netzhautfaltenbildung und sonstige mannigfache Einzelheiten des inneren Baues und der Oberflächenbeschaffenheit der Netzhaut im gesunden und kranken Zustand eingehend erforschen. Wiederum ist ein Gebiet eröffnet, das noch mancherlei neue Erkenntnisse zu liefern berufen ist. Die Einführung in diese Untersuchungsweise richtete die Aufmerksamkeit besonders auf die Netzhautmitte, den gelben Fleck. Die strittige Frage nach der der „macula lutea" eigentümlichen Farbe, die wohl mancher Augenarzt nie wahrgenommen hat, da sie beim Lebenden im gewöhnlichen Spiegellicht nicht sichtbar ist, trat wieder in den Vordergrund. Im rotfreien Licht springt sie als lebhaft zitronengelbe Stelle außerordentlich deutlich in die Augen. Nach den Beobachtungen des gelben Flecks unter verschiedenen Umständen scheint man im allgemeinen nicht anzustehen, ihm eine tatsächliche Färbung zuzuerkennen. Hat man dadurch eine neue Feststellung am gesunden Augenhintergrund gemacht, am gelben Fleck gewissermaßen eine neue Seite entdeckt, so liegt auf der Hand, daß damit ein Weg gegeben ist, die Veränderungen dieser wichtigen, das deutliche Sehen vermittelnden Gegend frühzeitig und mit gesteigerter Genauigkeit zu erkennen. Beobachtungen dieser Art sind vor kurzem bekanntgegeben worden. Ihre Bedeutung für die wissenschaftliche Erkenntnis wie die praktische Augenheilkunde leuchtet ohne weiteres ein.

Sind die hier angedeuteten Fortschritte durch die Wahl einer geeigneten Lichtart, nämlich durch Berücksichtigung des Einflusses der Wellenlänge erzielt worden, so ist das insofern nichts grundsätzlich Neues, als *Helmholtz* sich eine besondere Eigenschaft des Lichtes schon in seiner ersten Beschreibung des Augenspiegels dienstbar gemacht hat, indem er nämlich zur möglichst ausgiebigen Schwächung des störenden Hornhautreflexes die Polarisation ausnützte. Es sei an dieser Stelle gestattet, die optischen Grundlagen des Spiegels zu streifen. Bekanntlich erscheint die Pupille des Auges für gewöhnlich schwarz, weil in der Richtung auf den Beschauer kein Licht aus dem beobachteten Auge austritt. Nimmt man nämlich eine strenge Strahlenvereinigung im Auge und scharfe Einstellung auf die Flamme an, so ist klar, daß die Strahlen, die ins Auge eintreten, auf dem gleichen Wege aus dem Auge zur Lichtquelle zurückkehren. Da das Auge des Beobachters für gewöhnlich kein Licht ausschickt, so kann auch aus dem betrachteten Auge keines zu ihm zurückkehren, und die Pupille muß schwarz erscheinen. Unter gewissen Bedingungen hatten indessen *E. v. Brücke*, *W. Cumming* und *C. v. Erlach* auch beim Menschen Augenleuchten beobachtet, das teils auf Abweichungen der Strahlenvereinigung im Auge und auf unscharfer Einstellung auf die Lichtquelle, teils auf Spiegelwirkung beruht. *Brücke* schreibt, *C. v. Erlach* habe „die Erscheinung . . öfter . . an einem . . seiner Bekannten wahrgenommen, und er sei darauf aufmerksam gemacht, daß, während er dieselbe sah, seine Brille spiegele. Es gelang ihm auch alsbald meine Augen leuchten zu sehen, wenn ich mit dem Rücken gegen die Lampe gewendet so vor ihm stand, daß ich das Spiegelbild der Flamme in einem seiner Brillengläser sah, ..." Im Hinblick auf diese Brückische Angabe bemerkt *Helmholtz*: „Hierbei wurden also unbelegte Gläser als Beleuchtungsspiegel benutzt, und durch eben diese sah der Beobachter nach dem beobachteten Auge hin. Ganz dasselbe Hülfsmittel werden wir für unseren Zweck benutzen, die Brillengläser aber mit Vorteil durch gut geschliffene ebene Gläser ersetzen." An der Hand der hier wiedergegebenen Helmholtzischen Zeichnung (Abb. 1) sei kurz eine grobe Übersicht über den Strahlenverlauf gegeben. Das Licht einer Flamme *A* wird an der unbelegten Glasplatte *C* zum Teil so auf das untersuchte Auge *D* hingespiegelt, als käme es von *B* her, aus der Richtung, in der das Beobachterauge *G* steht; der andere Teil durchsetzt die Platte und geht verloren. Das ins beobachtete Auge eintretende Licht erleuchtet einen Bezirk des Augenhintergrundes und macht ihn gewissermaßen leuchtend. Von hier ausgestrahlt verläßt ein Strahlenbündel die Pupille und trifft in der alten Richtung rückläufig die Glasplatte, um an ihr gespalten zu einem Teil zur Lichtquelle zurückzukehren, zum anderen ins Auge des Beobachters zu gelangen. Dieser Rest liefert uns dank der optischen Wirkung der brechenden Flächen des Auges ein Bild des beleuchteten Augenhintergrundes. Dessen Lage hängt vom Brechungszustand des untersuchten Auges ab. Um eine für das deutliche Sehen geeignete Entfernung herbeizuführen, schaltet *Helmholtz* die (Zerstreuungs-)Linse *F* ein und erhält ein Hintergrundsbild bei *E*. Den Linsenwechsel erleichtert eine 1853 von *Helmholtz* veröffentlichte (möglicherweise von *K. A. Burow* stammende) „sehr vorteilhafte Verbesse-

rung . . . . ., welche . . . . . von dem . . . . . Mechanikus Hrn. *E. Rekoss* vorgeschlagen wurde und . . . . . ausgeführt ist". Die Lichtverluste an der Spiegelplatte auf dem Hin- und Rückweg schränkte *Helmholtz* möglichst ein durch die passende Wahl des Neigungswinkels der Glasplatte zum einfallenden Licht und durch die Vermehrung der Zahl der spiegelnden Platten. Er ermittelte die Formeln für die Menge des gespiegelten Lichtes

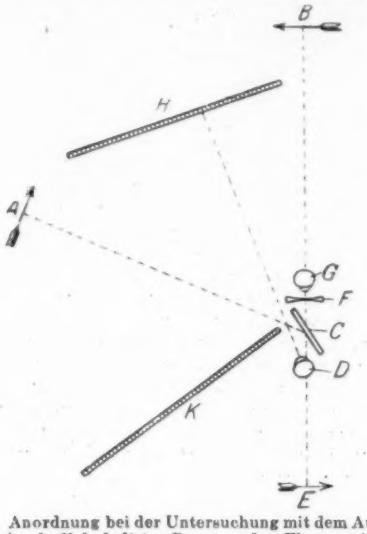

Abb. 1. Anordnung bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel (nach *Helmholtz*). Das von der Flamme *A* ausgehende Licht wird an der als Spiegel dienenden Glasplatte *C* in der Richtung auf das untersuchte Auge *D* abgelenkt und beleuchtet den Augenhintergrund. Die von hier rückläufig austretenden Strahlen treffen das Beobachterauge *G*. Sie haben von der optischen Flächenverbindung des untersuchten Auges *D* eine solche gegenseitige Neigung erhalten, daß sie sich in seiner Schärfenfläche (hier bei *B*) zu einem Bild vereinigen würden. Die Hilfslinse *F* ändert die Strahlenrichtung so, daß das Bild an einen für den Beobachter zugänglichen Ort fällt.

und den günstigsten Neigungswinkel bei der Verwendung mehrerer Glasplatten. Ihre Wirkung ist kurz so zu kennzeichnen, daß jede folgende einen Teil der von der vorhergehenden durchgelassenen Lichtmenge abfängt und dem untersuchten Auge zuführt.

Da auch die Hornhaut das ankommende Licht nicht restlos eintreten läßt, sondern, wie der Spiegel, eine nicht unbeträchtliche Menge an ihrer Vorderfläche zurückwirft, so entsteht der bekannte Hornhautreflex, der durch seine Helligkeit bei den gewöhnlichen heute üblichen Spiegeln mit Bohrung das Netzhautbild oft erheblich stört. Seiner Abschwächung dient die Helmholtzsche Anordnung *mehrerer* Glasplatten in gleicher Weise, wie sie die Lichtstärke des Netzhautbildes hebt, nämlich auf folgende Weise. Das von der Spiegelplatte zum untersuchten Auge geschickte Licht ist geradlinig polarisiert und behält, soweit es an der Hornhaut gespiegelt wird, diese Eigenschaft zum größten Teil bei, was für das aus dem Augeninnern zurückkehrende Bündel nicht zutrifft. Das von der Hornhaut gelieferte Licht kann daher eben wegen seiner Polarisation in der Hauptsache die Platten nicht durchdringen. Nur der kleinere Rest nicht in der gleichen Ebene polarisierter Strahlen ist dazu befähigt und wird dem Beobachter als Hornhautreflex bemerkbar.

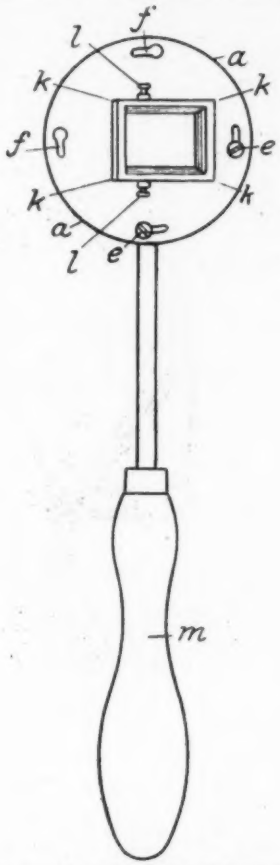

Abb. 2. Der ursprüngliche *Helmholtz*sche Augenspiegel. (Nach *A. Königs* Neudruck gezeichnet.)

In Abb. 2 und 3 sind nach *A. Königs* Ausgabe die ursprünglichen Helmholtzschen Ansichten seines Spiegels wiedergegeben, Abb. 2 zeigt den Spiegel von vorn, Abb. 3 im wagerechten Durchschnitt.

Daß der Erfinder die Theorie des Gerätes in umfassender Weise bearbeitete, wie seine beiden trotzdem kurzen Aufsätze zeigen, wird nicht wundernehmen. Die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke von der Pupillenweite, die Lichtverteilung, die Feldgröße, die Vergrößerung im auf-

rechten und im umgekehrten Bild enthält teils schon die erste Mitteilung von 1851, teils die von 1853, in der er seinen Spiegel mit dem im Jahre 1852 von *C. G. Th. Ruete* beschriebenen verglich. Im Lauf der Jahrzehnte wurden Spiegel von immer wieder anderen Formen gebaut, darunter solche für zwei und drei Beobachter, dem Unterricht dienend, Spiegel zur beidäugigen Untersuchung, die die Überlegenheit der körperlichen Raumwahrnehmung über das einäugige Richtungssehen auch an den Gebilden des Augeninneren zur Geltung bringt (*Giraud-Teulon, C. Schweigger, W. Thorner, A. Gullstrand*), und schließlich die vollkommenen Instrumente zur reflexlosen Beobachtung des Augenhintergrundes (*W. Thorner, H. Wolff, A. Gullstrand*). Die Beseitigung der störenden Spiegelbilder an den abbildenden Flächen ist eine Aufgabe, deren Lösung die Voraussetzung für die gleichfalls verwirklichte Photographie des Augenhintergrunds bildet (*W. Thorner, H. Wolff, F. Dimmer*). Die Reflex-

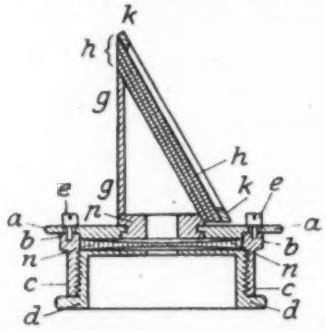

Abb. 3. Wagrechter Schnitt durch den ursprünglichen *Helmholtz*schen Augenspiegel. (Nach dem *König*schen Neudruck gezeichnet.) *h h* die drei planparallelen Glasplatten (*C* in Abb. 1), *n* die Hilfslinse (*F* in Abb. 1).

freiheit wurde abweichend von dem Helmholtzschen Vorgehen mit Hilfe der Strahlenbegrenzung erreicht. Die allgemeine Lösung der in der Ophthalmoskopie vorliegenden Aufgabe meisterte *A. Gullstrand*. In seinem großen Ophthalmoskop, das ein- und beidäugiger Beobachtung dient, wird die Reflexfreiheit dadurch herbeigeführt, daß im Gebiet der brechenden Flächen des untersuchten Auges der Strahlenraum der Beleuchtung getrennt wird von dem der Beobachtung. Die strenge Verwirklichung dieser Trennung verlangt eine hinreichend fehlerfreie Abbildung, die durch die Rohrsche aplanatische asphärische Ophthalmoskopierlinse weiter Öffnung geliefert wird. Die Entwicklung derartig vollkommener Geräte fußt auf der Leistungsfähigkeit der Technik, hier besonders der optischen Werke, wobei auch die Fortschritte in der Herstellung der elektrischen Beleuchtungskörper für viele neue Spiegelformen und insbesondere für die zuletzt genannten Instrumente die notwendige Grundlage bilden.

Im Jahre 1855 erschien die Helmholtzsche Arbeit „Über die Accommodation des Auges". Die Frage des Akkommodationsvorganges war trotz den Bemühungen vieler Forscher seit *Keplers* und *Scheiners* Zeit ungelöst geblieben, bis *M. Langenbeck* und der holländische Augenarzt *A. Cramer* die Formveränderung der Linse beim Nahsehen an den Purkinje-Sansonschen Spiegelbildchen entdeckten. Ohne Kenntnis ihrer Vorgängerschaft machte *Helmholtz* die gleiche Feststellung, hob sie aber in seiner Weise durch genaue Messung sofort auf eine hohe Stufe der Erkenntnis und erweiterte die Lehre von dem Akkommodationsvorgang noch, indem er seine Entspannungstheorie zur Erklärung aufstellte. Die Zusammenziehung des Ziliarmuskels erschlafft das Aufhängeband der Linse und gestattet der Linse, ihre Gleichgewichtsform anzunehmen. Dank ihrer Elastizität wölbt sie sich stärker: Einstellung des Auges für das Nahsehen. Dagegen entspricht der Ruhezustand des Muskels einer Spannung des Linsenbandes und einer erzwungenen Abflachung ihrer Wölbung: Einstellung des Auges für das Sehen in die Ferne. Die Richtigkeit der Helmholtzschen Auffassung wurde von *C. von Heß* 1896 durch eine höchst anziehende Reihe von Versuchen glänzend bestätigt. Es handelt sich dabei einmal um den Nachweis von Linsenschlottern im Zustand stärkster Akkommodationsanspannung und dann um die Beobachtung des Vorrückens der Ziliarfortsätze beim Nahesehen, die an Augen mit Ausschnitten aus der Regenbogenhaut gemacht wurde.

Das Werkzeug zu den Messungen schuf sich *Helmholtz* in seinem Ophthalmometer. Die Länge des Krümmungshalbmessers der spiegelnden Flächen wird damit aus der Größe der von ihnen entworfenen Spiegelbilder ermittelt. Das ist ein Verfahren, dessen Grundsatz schon *Chr. Scheiner* verwendet. Er empfiehlt in seinem „Oculus artificialis . . ." von 1619, die Größe der Hornhautkrümmung in der Weise zu bestimmen, daß man aus einer Anzahl von Glaskugeln diejenige heraussuche, die an den äußeren Augenwinkeln neben die Hornhaut gehalten, ein Fenster in gleicher Größe spiegele wie die Hornhaut. Bei der Ausmessung der Größe der von den erhabenen Flächen entworfenen Bilder erhebt sich die Schwierigkeit, daß sie nicht zugänglich und nicht auffangbar (virtuell) sind, daß sie wegen der Körper- und Augenbewegungen nicht ruhig stehen, und daß zu alledem trotz den geringen Bildgrößen eine hohe Genauigkeit zu fordern ist. Allen diesen Anforderungen genügt das Ophthalmometer. Die zu messende Größe wird mit einer Fernrohrlupe eingestellt und zwei vor dem Objektiv angebrachte jeweils in entgegengesetzter Richtung gegen die Fernrohrachse neigbare planparallele Glasplatten liefern dem Beobachter dank der Parallelverschiebung der Strahlen Doppelbilder (Abb. 4). Durch Drehung der

Platten wird die Verdoppelung so groß gemacht, daß sie der zu messenden Strecke gleich ist, d. h. daß sich die entgegengesetzten Enden der Doppelbilder berühren. Der Betrag der Verdoppelung und damit die gesuchte Länge des Bildes ergibt sich aus dem Drehungswinkel der Platten, aus ihrer Dicke und der Brechzahl n des Glases in einfacher Weise. Aus der so gefundenen Größe liefert das Spiegelgesetz den gesuchten Halbmesser. Mit Hilfe des Ophthalmometers ermittelte *Helmholtz* nun eine große Reihe von Bestimmungsstücken der brechenden Teile des Auges, nämlich die Krümmung der Hornhautvorder- und -hinterfläche, der Linsenflächen, ihrer Abstände; ferner wurden die Abweichungen der Hornhaut von der Kugelgestalt und Abweichungen von der zentrischen Benutzung der Flächen zahlenmäßig festgelegt. Das Ergebnis der großen Reihe von Untersuchungen führte zur Aufstellung eines mittleren Auges, dessen Werte *Helmholtz* in den siebziger Jahren verbesserte. Lange Zeit hatten die Helmholtzischen Zahlen allgemeine Geltung, bis wieder ein großer Forscher, *A. Gullstrand*, auf Grund neuer Erkenntnisse andere

Abb. 4. Übersichtsbild des Ophthalmometers. (Gezeichnet nach der *Helmholtz*ischen Abbildung 6 in *Graefes* Archiv für Ophthalmologie 1855. *1.* S. 4.) Der Gegenstand $c\,d$ erscheint durch die Glasplatten $a_1\,b_1$ ($a_2\,b_2$) betrachtet in gleicher Größe nach $c_2\,d_2$ ($c_1\,d_1$*) versetzt. *A* Fernrohr.

Werte an ihre Stelle setzte. Ihm blieb es auch vorbehalten, ähnlich wie in der Bearbeitung der Ophthalmoskopie, neue Schritte in der Erkenntnis des Akkommodationsvorganges zu tun, indem es ihm gelang, den intrakapsulären Akkommodationsmechanismus aufzudecken trotz den spärlichen Kenntnissen, die über den Bau der Linse in optischer Beziehung vorliegen.

Da die Brechzahl der Linse einem verwickelten Schichtungsgesetz entsprechend von außen nach innen wächst, so ist ihre Dioptrik mit den gewöhnlichen Mitteln nicht zu geben. Auch war die genauere Anordnung der Brechzahlen in dem Achsenschnitt der Linse bei dem Mangel geeigneter Meßgeräte *Helmholtz* vollkommen unbekannt, so daß an eine Bearbeitung des dioptrisch wichtigen Organs damals nicht zu denken war. Und doch hat *Helmholtz* es verstanden, über die Wirkungsweise der eigenartigen Anordnung gewisse wichtige Aussagen zu machen. *Gullstrand*, dem etwas mehr Unterlagen zur Verfügung standen, fand auf mathematischem Wege, daß bei der Akkommodation die Verlagerung der Linsenfasern eine Erhöhung des Totalindex bedingen mußten, so daß also die Akkommodation eine stärkere Erhöhung der Brechkraft leistet als lediglich der Krümmungszunahme ihrer Außenflächen zukommen würde, und gab damit den Grund für die Schichtung der Augenlinse an.

War das Helmholtzische Ophthalmometer zunächst der rein wissenschaftlichen Aufgabe möglichst genauer Laboratoriumsarbeit gewidmet, so nützten die damit erworbenen Kenntnisse der praktischen Augenheilkunde bald sehr. Fielen sie doch sehr günstig in eine Zeit, wo sich ein großer Aufschwung der Brillenlehre vorbereitete. Man denke an den Einfluß, den die Arbeit des Utrechter Physiologen *F. C. Donders* in dieser Richtung ausübte. Aber auch bis in die heutigen Tage findet das Ophthalmometer, seit ihm *Javal* 1880 eine für die Bedürfnisse der mit der Zeit geizenden Praxis geeignete Gestaltung gegeben hatte, eine immer ausgedehntere Anwendung. Hier dient es hauptsächlich der schnellen Ermittlung des Hornhautastigmatismus, die der Augenarzt braucht. Es ist ein glückliches Zusammentreffen, daß dieses Hilfsmittel von *Helmholtz* geschaffen wurde zu einer Zeit, als sich die Versorgung der Astigmatiker mit zylindrischen Brillen zu entwickeln begann. Heute wird wohl niemand ohne bestimmte Gründe daran denken, auf die Verbesserung eines auch nur geringen Astigmatismus zu verzichten. Von der Häufigkeit der täglichen Verwendung in der Praxis kann sich der Laie kaum eine Vorstellung machen. Mag nun auch dieser praktische Erfolg noch so anerkannt werden, eine Anschauung von der Leistung, die in der Schöpfung des Instrumentes von *Helmholtz* vollbracht ist, kann erst die Feststellung geben, daß noch heute für wissenschaftliche Messungen ein genaueres Verfahren nicht vorhanden ist.

Wenn schließlich hier auch der Untersuchungen gedacht wird, die wir *Helmholtz* über die Farbenblindheit verdanken, so geschieht dies, obwohl dabei hauptsächlich eine Förderung der physiologischen Theorie gewonnen ist. Bei der großen Bedeutung des Farbenerkennens für die Sicherheit des Verkehrswesens (Eisenbahn, Schifffahrt) hat die Ermittlung von farbenuntüchtigen Angestellten die allergrößte Bedeutung, und zu diesem Ziel hat *Helmholtz*ens Arbeit wesentliche Hilfen gegeben.

Ist in den obigen Zeilen versucht worden, auch dem Fernerstehenden wenigstens einen gewissen Eindruck von dem Aufschwung zu vermitteln, den die Augenheilkunde dank den Geschenken

*) In der genannten *Helmholtz*ischen Arbeit steht: „erscheint . . . durch die Platte $a_1\,b_1$ das Bild . . . in $c_1\,d_1$ und durch die Platte $a_2\,b_2$ in $c_2\,d_2$". Die Beschriftung der ursprünglichen Abbildung ist hier beibehalten.

eines *Helmholtz* nahm, so liegt die Frage nahe, ob diese Gabe ohne weiteres genügt hätte, eine so stürmische Entwicklung in Fluß zu bringen und sie so fruchtbar zu gestalten. Diese Frage wird man nicht ohne weiteres bejahen können. Man wird es vielmehr als eine ungemein glückliche Fügung ansehen müssen, daß unter den Augenärzten, denen *Helmholtz* seinen Augenspiegel in die Hand gab, gerade ein Mann wie *Albrecht von Graefe* zu wirken begann. Die Verdienste des großen Meisters der Augenheilkunde, den der Tod in den besten Mannesjahren der Welt entrissen hat, dürfen in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben. Sie sachlich zu erörtern, würde zu weit führen. Sie zu würdigen, wird niemand besser imstande sein als *Hermann von Helmholtz* selbst. Im Jahre 1886 hatte er von der ophthalmologischen Gesellschaft in Heidelberg die neu gestiftete Graefe-Medaille verliehen bekommen. Nach den Satzungen war sie demjenigen zuzuerkennen, „der unter den Zeitgenossen — ohne Unterschied der Nationalität — sich die größten Verdienste um die Förderung der Ophthalmologie erworben hat". *Helmholtz* dankte in der festlichen Versammlung mit einer geistvollen Rede für die ihm zuteil gewordene Ehrung und kleidete in vornehmster Bescheidenheit die Ablehnung der ihm allein zukommenden, ihm zu reichlich zugeschriebenen Verdienste in folgende Worte:

„Nun erlauben Sie, dass ich meinen Schluß auch in eine allegorische Form bringe, um keine persönlichen Bescheidenheiten zu verletzen. Nehmen wir an, da wir uns in einer Allegorie nicht an die historische Wahrheit zu binden brauchen, bis zu den Zeiten des *Phidias* hätte man keinerlei hinreichend harten Meissel gehabt, um Marmor mit vollkommener Beherrschung der Form bearbeiten zu können. Höchstens konnte man Thon kneten oder Holz schnitzen. Nun aber findet ein geschickter Schmied, wie man Meissel stählen könne. *Phidias* freut sich der besseren Werkzeuge, und bildet damit seine Götterbilder und beherrscht den Marmor wie Niemand vor ihm. Er wird geehrt und belohnt.

Aber die grossen Genies sind, wie ich immer gesehen, höchst bescheiden gerade in Beziehung auf das, worin sie Anderen höchst überlegen sind. Gerade das wird ihnen so leicht, dass sie schwer begreifen, warum die Anderen es nicht auch machen können. Mit der hohen Begabung ist aber auch immer die entsprechend grosse Feinfühligkeit für die Fehler ihrer eigenen Werke verbunden. Demgemäss sagt *Phidias* in einem Anfall von großmüthiger Bescheidenheit dem Meister Schmied: „Ohne Deine Hilfe hätte ich das Alles nicht machen können. Die Ehre und der Ruhm gebührt Dir." Dann kann ihm der Schmied doch nur antworten: „Ich hätte es aber auch *mit* meinen Meisseln nicht machen können. Du würdest doch ohne meine Meissel wenigstens in Thon wunderbare Bildwerke haben kneten können. So muss ich die Ehre und den Ruhm ablehnen, wenn ich ein ehrlicher Mann bleiben will."

Nun aber wird *Phidias* der Welt entrissen; es bleiben Freunde und Schüler, *Praxiteles*, *Paionios* und Andere. Sie brauchen alle die Meissel des Schmiedes, die Welt füllt sich mit ihren Werken und ihrem Ruhm. Sie beschliessen das Andenken des Verschiedenen zu ehren durch einen Kranz, den der erhalten soll, welcher am meisten für die Kunst und in der Kunst der Bildnerei getan. Der geliebte Meister hat den Schmied oft als den Urheber ihrer Erfolge gerühmt und sie beschließen endlich ihm den Kranz zu geben. „Gut, antwortet nun der Schmied, ich füge mich. Ihr seid viele und unter Euch sind kluge Leute, ich bin nur Einer; Ihr versichert, dass ich Einer Euch vielen geholfen habe und dass nun an vielen Orten Bildner sitzen und die Tempel mit Nachahmungen Eurer Götterbilder schmücken, die ohne die Werkzeuge, die ich Euch gegeben, wohl wenig geleistet haben würden. Ich muss Euch glauben, denn ich habe nie Marmor gemeisselt, und dankbar annehmen, was Ihr mir zuerkennt. Ich selbst aber würde meine Stimme dem *Praxiteles* oder *Paionios* gegeben haben."

Das Trachom.

Von Max Meyerhof, Hannover.

(Fortsetzung.)

4. Die Diagnose

des Trachoms ist nun trotz des so ausgesprochenen, schweren Krankheitsbildes keineswegs immer einfach. Sie ist sicher, wenn sich zu dem vorher geschilderten Bilde des „Volltrachoms" Geschwürs- und Pannusbildung in der Hornhaut hinzugesellt, welche ja aber — besonders bei behandelten Fällen — ausbleiben kann; oder wenn sich die charakteristische Narbenschrumpfung der Bindehaut einstellt — was erst nach jahrelangem Bestehen der Krankheit der Fall zu sein braucht.

Im *I. Stadium* ist anfangs überhaupt eine sichere Diagnose auf Trachom unmöglich; denn es gibt: 1. akute Schwellungskatarrhe mit Körnerbildung ohne bakteriologischen Schleimbefund, z. B. bei Skrophulose und durch Fremdkörper, 2. Bildung vereinzelter Körner in der Bindehaut von Schülern (*Folliculosis Conjunctivae*) und 3. Körnerkatarrhe (*Conjunctivilis follicularis*), welche dem Trachom im Beginn sehr ähnlich sehen können. Die letzteren, wenn durch Gifte (Atropin) oder chemische Reizungen erzeugt, sind nicht infektiös. Es gibt aber auch *ansteckende Körnerkatarrhe*, welche endemisch auftreten und dem frischen Trachom vollkommen ähnlich sehen können. Sie kommen in Schulen und Internaten vor, sind neuerdings auch als *Schwimmbad-Conjunctivitis* in ganzen Endemien beobachtet, und früher oft mit Trachom („ägyptische Augenentzündung") verwechselt worden. Die Follikelbildung kann sich bei diesen Erkrankungen auf den unteren Bindehautsack beschränken; sie kann aber auch im oberen Bindehautsack ganz „frosch-

laichartig" auftreten, ja, auch die halbmondförmige Falte befallen. Endlich kann sogar in den schwersten Fällen das Epithel im oberen Teile der Hornhaut in ähnlicher Weise erkranken, wie wir es als Vorläufer der trachomatösen Hornhautentzündung und des Pannus sehen. Zur richtigen Pannusbildung kommt es allerdings nie. Die Trachomähnlichkeit solcher Follikularkatarrhe der Bindehaut kann also eine ganz vollkommene sein. Erst die narbenlose Heilung dieser Körnerkatarrhe gibt die Möglichkeit, nachträglich festzustellen, daß kein „echtes" Trachom vorgelegen hat.

Ihre ansteckende Natur hat vor allem *Axenfeld* 1896 erwiesen, indem er sich selbst mit einem Follikel aus der Bindehaut eines kranken Kindes infizierte, und sein Auge anderthalb Jahre lang ohne Behandlung ließ. Seine Augenkrankheit wurde selbst von hervorragenden Lehrern der Augenheilkunde für Trachom gehalten, heilte aber ohne jede Narbenbildung ab. Dennoch sind viele Augenärzte geneigt, diese Art ansteckender Körnerkrankheit für ein abgeschwächtes Trachom zu halten („Unitarier"). Ich selbst bekenne mich — wohl mit den meisten Fachgenossen — zum Standpunkte der „Dualisten", indem ich nicht glauben kann, daß eine Epidemie von „Trachom", und sei es noch so milde, ablaufen kann, ohne daß auch nur ein Einziger der Befallenen Pannus oder Narbenbildung gezeigt hätte. Es bleibt also nichts anderes übrig, als solche Fälle so lange als *trachomverdächtig* zu bezeichnen, bis ihre narbenlose Ausheilung sie als harmlose „Körnerkatarrhe" erwiesen hat. Solange der Erreger des Trachoms noch nicht gefunden ist, tasten wir hier leider noch im Dunkeln.

Das *II. Stadium*, dasjenige der vollentwickelten Papillenschwellung und Granulationen, ist früher oft mit dem sogenannten Frühjahrskatarrh und der Tuberkulose der Bindehaut, neuerdings zuweilen mit der sog. Parinaudschen Conjunctivitis verwechselt worden, welche alle drei rauhe Erhebungen der Lidbindehaut hervorrufen. Aber sorgfältige klinische Beobachtung kann leicht die Differentialdiagnose sichern. Der Pannus allein kann auch durch skrophulöse Hornhautentzündung oder durch Lepra erzeugt werden. Dann fehlt aber die charakteristische Beteiligung der Lidbindehaut. Der unbehandelte Augentripper kann enorme rote Wucherungen der Lidbindehaut nach Art eines Hahnenkammes zurücklassen (*Conjunctivitis metablennorrhoica*). Auch dieser Zustand ist früher oft für Trachom gehalten worden, daher dann das Trachom von einigen Augenärzten (z. B. *Arlt*) als Folgezustand der Blennorrhöe angesehen wurde. Aber unter Ätzbehandlung verschwindet dies Krankheitsbild meist narbenlos, was beim echten Trachom unmöglich wäre. Außerdem gibt der Befund von Gonokokken im Augeneiter den rechten Fingerzeig zur Beurteilung dieser Fälle.

Das *III. Stadium*, das der Vernarbung, kann durch Bindehautnarben von Verbrennungen, Verätzungen, Diphtherie und scharf behandelter Blennorrhöe vorgetäuscht werden, auch durch die Folgen langdauernder Auswärtskehrung (*Ektropion*) der Lider bei einfachen chronischen Lidbindehautentzündungen, endlich durch den seltenen Pemphigus der Bindehaut, eine Schrumpfungskrankheit, die mit gänzlicher Verhornung und Vertrocknung (*Xerosis*) der Binde- und Hornhaut enden kann. Natürlich können alle solche Narbenbildungen auch Einkrümmung der Lidknorpel und Einwachsen von Wimpern gegen die Hornhaut erzeugen. Das ständige Reiben der falschstehenden Härchen trübt dann unter Umständen die Hornhaut in Gestalt eines gefäßhaltigen Pannus. Da kann die Diagnose recht schwierig werden, und ich sah erst kürzlich einen solchen Fall, in welchem mehrere Augenärzte ganz verschiedener Meinung waren.

Endlich können mehrere Binde- oder Hornhauterkrankungen, z. B. Frühjahrskatarrh oder parenchymatöse Hornhautentzündung, durch Diplobazillen oder Pneumokokken hervorgerufene Geschwüre u. a. m., in Trachomaugen vorkommen. Das erschwert dann die Diagnose noch ganz besonders.

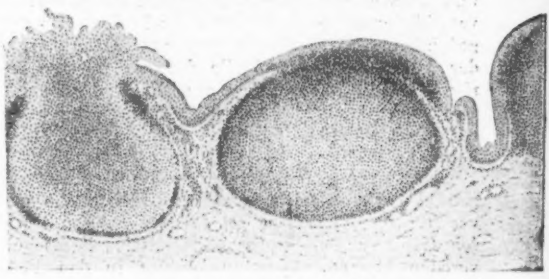

Fig. 6. Mikroskopischer Schnitt von drei Trachomfollikeln; der linke ist geplatzt und entleert seinen Inhalt nach außen. Nach *Axenfeld*.

5. Die Pathologische Anatomie

des Trachoms ist charakterisiert durch eine *Vermehrung der Lymphkörperchen (Lymphocyten) in dem adenoiden Gewebe*, d. h. der unter dem Oberflächenepithel liegenden Schicht der Bindehaut. Die Bindehaut nimmt an Oberflächenausdehnung zu und bildet die schon früher genannten „Papillen", in und unter denen sich dann sehr bald die Lymphzellen zu *Lymphknötchen, Follikeln*, von Kugel- oder Ovalform ansammeln. Diese Follikel bestehen aus einem spärlichen bindegewebigen Gerüst mit Blut- und Lymphgefäßen, in dessen Maschen sich nur die kleinen, einkernigen Rundzellen befinden, welche eben Lymphkörperchen genannt werden. In der Mitte des Follikels sind sie größer, heller und zeigen Kernteilungsfiguren (Keimzentrum). An der Peripherie gehen sie in die infiltrierte Um

gebung ohne scharfe Grenze über (Fig. 6). Bei älteren Follikeln kann sich eine kapselartige Bindegewebsabgrenzung gegen das umgebende Gewebe einstellen. Die Follikel fließen in schweren Fällen auf ganze Strecken zusammen und bilden dann eine zusammenhängende Schicht von lymphoïdem Gewebe (sulziges Trachom). Das Epithel der Bindehaut an der freien Oberfläche verdickt sich, schilfert ab, ist mit Lymphzellen und Schleimzellen durchsetzt. Seine Einsenkungen zwischen den Papillen sind mehrfach fälschlich als neugebildete Drüsen angesehen worden (*Berlin, Iwanoff*). Die Zellelemente der Follikel sind von Augenärzten (*Villard, Raehlmann, Junius* u. a.) und Bakteriologen (*Czaplewski, v. Prowaczek*) mit ungeheurem Fleiß mikroskopisch und ultramikroskopisch unter Anwendung aller bekannten chemischen Färbungsmethoden, aber auch frisch lebend studiert worden. Leider ohne eindeutige Ergebnisse: außer epitheloïden Zellen und Mastzellen (*Lebers* Körperchenzellen) sind verschiedenartige Zellformen und Zelltrümmer gefunden worden, die ein gewiegter Kenner wie der Pathologe *Aschoff* alle für nicht charakteristisch hält. Die bisher geschilderten pathologischen Veränderungen der Bindehaut sind auch bei den harmlosen Follikularkatarrhen der Bindehaut anzutreffen.

Beim echten Trachom gehen die Veränderungen aber tiefer. Die lymphoïde Infiltration ergreift auch die Lidknorpel (*Tarsus*), deren Drüsen (Meibomsche, Kraussche, Kollsche, Zeißsche) veröden können. Alsdann beginnt in den Follikeln sowohl wie in den infiltrierten Teilen der Bindehaut und der Lidknorpel eine Degeneration (oft hyalin oder amyloid) Platz zu greifen; die erweichten Follikel verwandeln sich in Zysten, entleeren sich durch das Epithel nach außen oder schwinden, die Knorpel verlieren an Festigkeit, und endlich verwandelt sich die ganze infiltrierte Schleimhaut in Narbengewebe, das erheblich schrumpft und durch seinen Zug die Lidknorpel zu kahnförmiger Einkrümmung bringt (*Entropion*). Die durch Drüsenschwund verdünnten Lidränder schleifen sich ab, geben dem Zug der Bindehaut nach und ziehen die Wimperhaare nach innen (*Trichiasis*) (siehe Fig. 5).

Mittlerweile ist die Infiltration bis an den Rand der Augapfelbindehaut vorgedrungen, die mit ihrem geschichteten Plattenepithel der Trachominfiltration meist besser widersteht als das Zylinderepithel der Lidbindehaut. Vereinzelte oder zusammengeflossene Follikel kommen allerdings auch in der Augapfelbindehaut vor.

Die Hornhaut dagegen erkrankt am Trachom in eigenartiger Weise. Von ihrem Rande (*Limbus*) schiebt sich ein neugebildetes Lymphzellengewebe mit Blut- und Lymphgefäßen als *Pannus* zwischen das Oberflächenepithel und die elastische Bowmansche Membran der Hornhaut ein (*P. tenuis*) oder aber unter Zerstörung der genannten Membran in die tieferen Hornhautschichten, wobei es sulzig oder dickfleischig aussehen (*P. crassus, carnosus*), ja sogar geschwulstartig die ganze Hornhaut überdecken kann (*P. sarcomatosus*). Echte Follikel sind im Pannus zuweilen nachweisbar (*Bayer, Pascheff*). Der dünne Pannus kann sich vollständig wieder aufhellen, indem das Lymphgewebe schwindet und das Epithel sich an die intakte Bowmansche Membran wieder anlegt. Die dicken Pannusformen hinterlassen nach ihrem narbigen Rückgange stärkere Trübungen des klaren Hornhautgewebes. Die Gefäße fallen dann vollständig zusammen, können sich aber bei jedem neuen Entzündungsreiz noch nach Jahren sofort wieder mit Blut füllen. Geschwüre, Verkalkungen, hyaline Entartungen sind beim Pannus häufig. Daß er eine Verdünnung und Ausdehnung der Hornhaut (*Keratektasia e Panno*) zur Folge haben kann, wurde schon oben erwähnt.

Die *Ursache des Pannus* kann nicht allein in dem Reiz der rauhen Oberlidschleimhaut oder etwaiger reibender Wimpern gesehen werden. Denn auch bei glatter Schleimhaut und ohne Trichiasis kommt er in schwerster Form vor. Es ist daher mit *Fuchs* anzunehmen, daß der Pannus durch eine Infektion des Hornhautrandes (häufig im Verein mit mechanischer Reizung) bei der zentripetalen Neigung des Gefäßwachstums in die Hornhaut hinein vorgeschoben wird. Neuerdings ist nachgewiesen worden, daß auch die scheinbar normale Augapfelbindehaut zuweilen mikroskopisch sichtbare trachomatöse Veränderungen zeigt.

Die *Regenbogenhaut* ist bei der trachomatösen Hornhautentzündung häufig leichter oder schwerer entzündet.

Der *Tränensack* und der *Tränennasengang* sind beim Trachom sehr oft erkrankt, entzündet, in Eiterung. Anatomisch findet man in der Wand der Tränenwege dann häufig zahlreiche Follikel. Da sich aber solche auch in Tränensackeiterungen von nichttrachomatösen Kranken finden, so ist die Trachomnatur dieser Follikel, welche *Raehlmann* behauptet, noch nicht erwiesen.

6. *Die Ätiologie*[23])

des Trachoms ist, wie eingangs bemerkt, leider bis auf den heutigen Tag noch nicht geklärt, obwohl die Augenärzte und Bakteriologen aller Länder sich ihrer Erforschung mit einem durch ungezählte Mißerfolge nicht gelähmten Eifer gewidmet haben und noch widmen. Einen Erfolg versprach die ätiologische Forschung erst, nachdem an die Stelle wahlloser Hypothesen die Bakteriologie mit ihren Untersuchungsmethoden getreten war.

So gelang es zunächst, vom Bilde des Trachoms die akuten, häufig „daraufgepflanzten" Infektionen der Bindehaut abzutrennen, welche

[23]) Vollkommene Übersicht und Literatur dieser Frage bieten die Schriften von *Th. Axenfeld*, „Die Bakteriologie in der Augenheilkunde", Jena 1907, 2. Aufl. 1914, und „Die Ätiologie des Trachoms", Jena 1914.

früher das Bild der „ägyptischen oder militärischen" Augenentzündung so unbegreiflich verschiedenartig gestaltet hatten. Die drei wichtigsten solcher Infektionen sind durch den Gonococcus *Neißer*, den Bacillus *Koch-Weeks* und den Diplobacillus *Morax-Axenfeld* hervorgerufen. Außer diesen Krankheitserregern kann die trachomkranke Bindehaut noch eine Reihe anderer Bakterien beherbergen. *Doch ist sicherlich keiner dieser verschiedenen Mikroorganismen als Erreger des reinen Trachoms anzusehen.* Die Geschichte der Bakterienbefunde beim Trachom ist eine Geschichte der Irrungen.

Wenn wir diese Mischinfektionen ausschließen, so ist zunächst festzustellen, daß das „reine" *Trachom kontagiös* ist, d. h. durch Kontaktinfektion übertragen wird. Ob dabei Insekten, Fliegen besonders, eine Rolle spielen können, ist bisher nicht bewiesen. Die früher oft behauptete Luftinfektion existiert sicher nicht. Der Beweis für die Kontagiosität des Trachoms ist schon in der vorbakteriologischen Zeit gelegentlich durch Infektionen von Ärzten bei der Behandlung Trachomkranker geliefert worden, z. B. des Italieners *Quaglino* und des Franzosen *Cuignet*. Auch aus neuester Zeit liegen noch solche traurigen Erfahrungen vor (*Clausen* a. a. O.). Vollkommen schlüssige Beweise sind erst in den letzten Jahrzehnten durch gelungene Übertragungen „reinen" Trachoms auf die gesunde Bindehaut von Menschen geliefert worden. Diese Versuche sind meist an Blinden oder Medizinern vorgenommen worden, jedenfalls stets an Personen, die sich freiwillig zu dem Experiment hergaben. Da immer baldige Behandlung einsetzte, so hat keiner dieser Versuche Schaden hinterlassen. Zuerst hat 1881 *Sattler* sowohl mit der Absonderung wie mit dem Inhalt eines Follikels einer trachomkranken Schleimhaut typisches Trachom erzeugen können. 1908—14 ist eine ganze Reihe erfolgreicher Impfungen gefolgt (*Greeff, Frosch, Clausen, Addario, Mijashita, Nicolle, Cuénod, Blaizot* u. a.). Die Zeitspanne von der erfolgten Impfung bis zum Ausbruch der ersten Symptome des Trachoms (*Incubation*), schwankte zwischen 4 und 14 Tagen, betrug aber bei einer Impfung mit durch 7 Tage aufbewahrten und daher minder wirksamen Trachommaterial sogar 21 Tage (*Nicolle*). Stets entwickelte sich die typische Follikelerkrankung der Bindehaut, in mehreren Fällen recht stürmisch, wodurch das Vorkommen eines echten „akuten" Trachombeginnes von neuem bewiesen wurde. Indessen darf nicht verschwiegen werden, daß auch eine ganze Reihe von solchen Impfversuchen erfolglos blieb (*Germaix, Bäck, Mutermilch* u. a.). Da kann die Infektiosität (*Virulenz*) der übertragenen Materie, die Empfänglichkeit des geimpften Menschen usw. eine Rolle spielen. Aber zu den *sehr* infektiösen Erregern gehört der Trachomerreger sicher nicht. Das beweisen auch die oben geschilderten Erfahrungen aus dem Weltkriege.

Ferner ist es neuerdings gelungen, das Trachom auf Tiere zu übertragen. Nur *Affen* erwiesen sich als empfänglich, vorwiegend Schimpansen, Paviane und Meerkatzen, vor allem die algerische Meerkatze (Macacus innuus), bei welcher *Nicolle, Cuénod* und *Blaizot* (Tunis) regelmäßig starke Körnerbildung in der Bindehaut zu erzielen vermochten, am sichersten durch Kratzen der Schleimhaut mit einem mit Trachomkorninhalt beladenen Löffelchen. Die Inkubationszeit betrug 8 Tage; nach 3—4 Wochen war das Vollbild des Körnertrachoms in der oberen und unteren Lidbindehaut vorhanden. Weiterimpfungen auf andere Affen waren möglich. Indessen war nie Absonderung oder Pannus vorhanden, und nach 3 Monaten waren die Körner narbenlos verschwunden. Es lag also ein Bild ähnlich dem menschlichen Follikularkatarrh vor. Vor kurzem haben die gleichen Forscher mitgeteilt, daß ihnen auch die Überimpfung des Trachoms auf Kaninchen gelungen sei[24]), sowie auch die Rückimpfung vom Kaninchen auf den Affen. Die vorgenannten Franzosen haben ferner *Immunisierungsversuche* beim Affen unternommen, nachdem sie gefunden hatten, daß die überstandene Trachomerkrankung innerhalb von 6 Monaten keine erfolgreiche Wiederimpfung gestattete, also Immunität hinterließ. Sie konnten Affen durch wiederholte intravenöse Injektionen von in physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmtem menschlichen Trachomfollikelinhalt gegen die Inokulation der Bindehäute unempfänglich machen. Beim Menschen vermochten sie indessen durch die gleiche Behandlung keine *sicheren* Heilerfolge zu erzielen, ebensowenig durch Einspritzung solchen Materials unter die erkrankte Bindehaut. Auch Versuche anderer Autoren ergaben kein erhebliches Resultat. Das ist auch erklärlich, denn das Blutserum der Trachomkranken scheint keine spezifischen Antikörper zu bilden (*Römer*). Damit stimmt meine eigene klinische Erfahrung aus Ägypten überein, daß die Schleimhaut Trachomkranker nach völliger narbiger Ausheilung schon nach wenigen Jahren einer Neuansteckung (*Reinfektion*) zugänglich war.

Die *Widerstandsfähigkeit* des Trachomvirus gegen Hitze, Kälte und Austrocknung scheint nach zahlreichen Versuchen keine erhebliche zu sein. Doch vermochten *Nicolle* und seine Mitarbeiter mit sieben Tage in Glycerin im Eisschrank aufbewahrtem Trachommaterial noch eine Ansteckung beim Menschen hervorzurufen; sie entwickelte sich aber, wie oben erwähnt, ungewöhnlich langsam.

Die *Filtrierbarkeit* des Trachomgiftes ist wohl als erwiesen anzusehen. *Nicolle, Gebb* u. a. haben mit durch Berkefeldtfilter filtriertem, aufgeschwemmtem Trachommaterial die Bindehaut von Affen und Menschen infizieren können.

[24]) *Nicolle, Cuénod* et *Blanc*, Reproduction expérimentale du trachome chez le lapin. Compte rendu hebd. de l'Acad. des Sciences Vol. *170*, 1920, S. 642—43.

Großes Aufsehen erregte es nun, als *v. Prowaczek* und *Halberstädter* 1907 auf Java in den abgekratzten Epithelzellen frisch trachomkranker Schleimhäute regelmäßig *protozoenähnliche Körperchen* fanden, welche sie als *Chlamydozoen* oder vorsichtiger als „Einschlüsse" bezeichneten. Es sind runde oder ovale Gebilde, dicht am Kern sonst gesund aussehender Epithelzellen der Bindehaut gelagert, aus feinen Massen zusammengesetzt, welche sich mit der Giemsamethode dunkelblauviolett färben, während dazwischen verstreute, feine rote Körnchen liegen. Diese Körnchen, welche sich sehr vermehren und auch frei liegen können, sollen die mit einem blauen Mantel (*Chlamys*) aus Reaktionsprodukten der Zellen (*Plastin*) umhüllten Parasiten sein. Alsbald wurden diese Befunde bei frischem, unbehandeltem Trachom aus der ganzen Welt bestätigt. *Lindner* fand die roten „Initialkörper" auch einzeln liegend frei in der Absonderung kranker Schleimhäute. Es schien, als ob man endlich den Erreger des Trachoms gefunden habe, obwohl die Prowaczek-Halberstädter-Körperchen in dem typischsten Produkt dieser Krankheit, in den Follikeln, nicht nachweisbar waren. Indessen ist die parasitäre Natur der P.-H.-Körperchen bisher noch nicht sicher nachzuweisen gewesen, wenn sie auch andererseits den bekannten Zerfallsprodukten von Kern und Zelleib in keiner Weise gleichen. Eine Züchtbarkeit der P.-H.-K. wollen *Noguchi* und *M. Cohen* auf besonderen Nährboden beobachtet haben; doch ist dies Ergebnis bisher erst ein einziges Mal bestätigt worden (*Kooy*).

Die Aussicht, die P.-H.-K. als Trachomerreger auffassen zu können, wurde sehr bald dadurch erschwert, daß man sie auch bei anderen Erkrankungen der Bindehaut fand, z. B. dem Frühjahrskatarrh und den durch Gonokokken, Koch-Weeks-Bazillen und Pneumokokken erzeugten Bindehauteiterungen. Beim frischen Trachom finden sie sich allerdings bis zu 84 % der Fälle (z. B. *Verderarme*[25]) [26])), ähnlich auch bei der Schwimmbad-Conjunctivitis (z. B. *Comberg*[27]) 50 %) und vor allem bei einer Form von eitrigen Bindehautentzündung der Neugeborenen, welche meistens bakterienfrei ist und viel milder verläuft als die bekannte, durch den Gonococcus erzeugte Blennorrhöe. *Lindner*, der diese Krankheit seit 1909 höchst eingehend studiert hat, fand unter 119 Augeneiterungen der Neugeborenen 53mal P.-H.-K. und benannte diese Krankheit „Einschluß-Blennorrhöe". Er vermochte nun einerseits Zellen mit P.-H.-„Einschlüssen" in der Vagina und bei gewissen Katarrhen der männlichen Harnröhre nachzuweisen, andererseits mit „Einschluß"haltigem Material andere Neugeborene und Affen zu infizieren. Die letzteren erkrankten z. T. mit typischer Follikelbildung. Sodann gelang es *Wolfrum*, bei blinden Menschen mit einschlußhaltigem Sekret von Neugeborenen eine vollkommen dem „sulzigen" Trachom gleichende Erkrankung der Bindehaut einzuimpfen, in der wiederum P.-H.-K. nachweisbar waren. Beide sind daher von der *Identität der Einschluß-Blennorrhöe und des Trachoms* überzeugt, wobei sich die Möglichkeit einer Herkunft des Trachoms von der Genitalschleimhaut ergeben würde. „Identitätsgegner", wie *Löhlein*, bestritten diese Schlußfolgerungen[28]) und nahmen an, daß es sich da nicht um echtes Trachom gehandelt habe. Da den blinden Versuchspersonen die Hornhäute fehlten, so war der sicherste Beweis für Trachom, der Hornhautpannus, natürlich nicht zu beobachten. Wesentliche Narbenbildung in der später geheilten Bindehaut trat nicht auf. Ich selbst sah in Ägypten neugeborene Kinder mit Einschlußblennorrhöe, welche später kein Trachom bekamen. Da das Trachom sonst in Ägypten die Kinder gewöhnlich schon in den ersten Lebensjahren zu befallen pflegt, so scheint mir diese Beobachtung gegen die Identität von Trachom und Einschlußblennorrhöe zu sprechen; außerdem ist die Einschlußblennorrhöe gerade in diesem trachomreichen Lande sehr selten. Zu erwähnen ist noch, daß *A. Leber* 1912 in der Südsee (Samoa) eine eigenartige Bindehautkrankheit der Eingeborenen entdeckt hat, welche er *Epitheliosis desquamativa Conjunctivae* nennt, und in der er gleichfalls die P.-H.-Einschlüsse gefunden hat. Auch diese Krankheit war durch Sekret übertragbar. Unter den jüngeren Forschern hält *Löwenstein*[29]) die vier genannten „Einschlußkrankheiten" der Bindehaut, wenn nicht für identisch, so doch für nahe verwandt.

Auf alle die sonstigen zahllosen Befunde von Bakterien, Blastomyzeten, Protozoen usw. beim Trachom einzugehen, verbietet hier der Raum. Die deutsche Forschung ist zwar durch Mangel an Versuchstieren (Affen) z. Z. sehr im Rückstande gegenüber anderen Ländern, aber sie wird in den Grenzen des Möglichen die durch den Krieg unterbrochene Arbeit zur Klärung der Ätiologie, dieses wichtigen Teiles der Trachomfrage, fortsetzen.

(Schluß folgt.)

[25]) Ricerche sul tracoma. Torino 1919.

[26]) *J. M. Kooy* (Inaug.-Diss. Amsterdam 1919) hat sogar in 69 von 70 Trachomfällen P.-H.-K. gefunden.

[27]) Bade-Conjunctivitis. Berl. Ophth. Gesellsch., Sitzungsber. v. 25. Okt. 1919.

[28]) Die Hypothese von *Lindner* und *Wolfrum* führt ähnlich wie *Herzogs* inzwischen widerlegte Behauptung der Identität von Gonokokken und „Einschlüssen" zu der Ansicht der alten *Arlt*schen Wiener Schule zurück, daß Trachom und Gono-Blennorrhöe identisch, das Trachom nur eine chronische Blennorrhöe sei.

[29]) Derzeitiger Stand der Trachomfrage. Wiener klinische Wochenschr. 1919.

Die Anwendbarkeit der Fermente bei Untersuchungen über Giftwirkungen.

Von P. Rona, Berlin.

Die methodischen Fortschritte der letzten Jahre ermöglichen es, den Verlauf von Fermentwirkungen ohne Aufwand zeitraubender Versuche

mit großer Exaktheit festzustellen; dies setzt uns in die Lage, die *Wirkungen von Giften auf Fermente* genau zu studieren. Wir können mit Hilfe von Fermenten Systeme von großer Übersichtlichkeit und genauer Reproduzierbarkeit herstellen und sind daher imstande, jede Abweichung des Verlaufs der Fermentwirkung von der Norm unter der Einwirkung eines schädlichen Agens, des Giftes, qualitativ und quantitativ genau zu verfolgen. Mit der Gewinnung eines exakten Maßes ist jedoch der Vorteil, die Fermente zum Studium der Giftwirkungen heranzuziehen, nicht erschöpft. Die Vorstellung ist berechtigt, daß Stoffe, die in so geringen Mengen so große physiologische Wirkungen entfalten wie die Gifte, im Organismus chemische Verbindungen angreifen müssen, die für das „Leben" von ausschlaggebender Bedeutung sind. Solche Verbindungen dürften die Fermente sein. Statt im allgemeinen von „Zellgift", „Protoplasmagift" können wir sicher in vielen Fällen von *Fermentgiften* sprechen, und wir dürfen bei geeigneter Auswahl der Fermente, die wir der Einwirkung verschiedener Gifte aussetzen, manche Aufklärung über das Wesen der Giftwirkung überhaupt wie auch über das Wesen der Fermentwirkung erhoffen.

Diese Gedankengänge sind nicht neu und bereits *Nasse* hat (1875), von ähnlichen Gesichtspunkten geleitet, die Wirkung des Chinins auf Invertase untersucht und eine hemmende Wirkung des Chinins auf das Ferment beobachtet. Spätere Forscher, denen eine exaktere Technik zu Gebote stand, *Ducleaux* und *v. Euler* und *Svanberg* sind jedoch bei ihren Studien über denselben Gegenstand zu einander widersprechenden Resultaten gekommen: während *Ducleaux* fand, daß bereits „homöopathische" Dosen von Chinin die Invertasewirkung lähmen, geben *v. Euler* und *Svanberg* an, daß selbst sehr große Chininmengen kaum nennenswerte Wirkung auf Invertase haben.

Eigene mit *E. Bloch* ausgeführte Untersuchungen klärten diesen Widerspruch auf. Es konnte gezeigt werden, daß die Chininwirkung (angewendet wurde Chinin. hydrochlor.) nicht bloß von der Konzentration des Alkaloidsalzes abhängt, sondern *auch von der Wasserstoffionenkonzentration des Systems.* Eine und dieselbe Chininkonzentration wirkt unter denselben Versuchsbedingungen, nur bei variierter H-Ionen-Konzentration ganz verschieden. Dies zeigt Fig. 1.

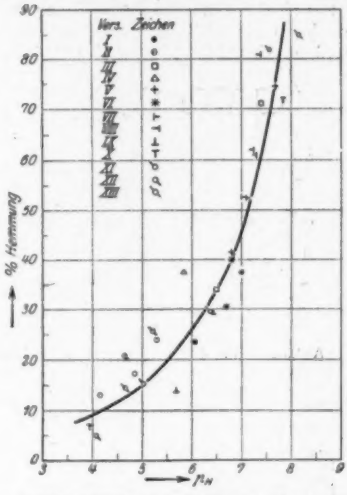

Fig. 1. Abhängigkeit der Wirkung einer gegebenen Chininkonzentration von deren H-Ionen-Konzentration.
Abszisse: p_H der Chinin-Invertase-Lösung.
Ordinate: Hemmung der Invertasewirkung in % der totalen Hemmung.

Mit wachsendem p_H, d. h. je alkalischer die Reaktion wird, steigt die Chininwirkung an, entsprechend der zunehmenden Dissoziation des Chininsalzes.

Ganz dieselben Verhältnisse liegen auch bei der Wirkung des Chinins auf Paramäcien vor. Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, sagt die Angabe einer wirksamen Chininkonzentration ohne die Angabe der H.-Ionen-Konzentration nicht viel aus. Schon eine ganz geringe Verschiebung der

Abhängigkeit der Chininwirkung auf Paramäcien von der Wasserstoffionenkonzentration.

p_H	Chininkonzentration 1 : 1600				Chininkonzentration 1 : 3200				Chininkonzentration 1 : 6400			
	+++	++	+	−	+++	++	+	−	+++	++	+	−
5,3		unwirksam				unwirksam				unwirksam		
6,0	1h 45′	3h 10′		< 24h			"			"		
6,2	1h 10′	3h 10′		< 24h			"			"		
6,4	15′	> 5h		< 24h			"			"		
6,6		15′	40′	1h 15′	25′	45′	1h 25′	3h 20′		"		
6,8	10′	20′	40′	1h 30′	40′	50′	1h 20′	1h 50′		"		
7,0	5′	15′	40′	1h 30′	40′	1h 30′	1h 15′	2h 45′	2h			< 24h
7,2	5′	5′	15′	30′	15′	30′	1h 5′	2h 35′				4h 20′
7,4		5′	10′	15′	10′	15′	20′	40′	20′	40′	1h 25′	5h
7,6		5′	5′	20′	5′	15′	25′	45′	10′	40′	1h 30′	2h 25′
7,8			5′	10′	5′	10′	15′	20′	10′	50′	1h 10′	1h 50′
8,0				5′		5′		10′	5′	10′	20′	1h

Es bedeuten +++ viel, ++ wenig, + vereinzelt, − keine Paramäcien im Gesichtsfeld.

[H_3] nach der saueren Seite bewirkt die Unwirksamkeit der sonst unbedingt tödlichen Konzentration. Die entgegengesetzten Befunde von *Euler* und *Svanberg* und von *Ducleaux* sind also darauf zurückzuführen, daß *v. Euler* und *Svanberg* bei dem Optimum der Invertase (p_H etwa 4,5), *Ducleaux* hingegen wohl bei etwa neutraler Reaktion gearbeitet haben.

Erst nach der genauen Feststellung der Bedingungen der Chininwirkung konnte daran gegangen werden, *die Abhängigkeit der Chininwirkung von der Chininkonzentration* zu studieren. Die zur Prüfung dieser Frage angestellten Versuche ergaben eine einfache Beziehung: trägt man den Logarithmus der Chininkonzentration auf der Abszisse, den Logarithmus der Hemmung auf der Ordinate auf, so erhält man eine Gerade (Fig. 2 und 3).

Die gefundene Konzentrations-Hemmungskurve kann man als eine Adsorptionsisotherme betrachten, wenn die Hemmung der direkte Ausdruck für die an Invertase adsorbierte Chinin-

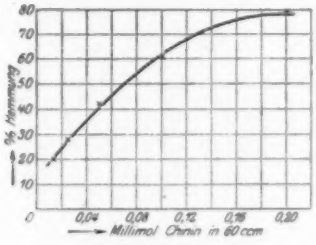

Fig. 2a.

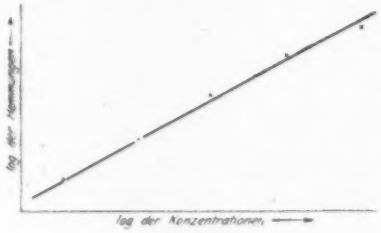

Fig. 2b.

Abhängigkeit der Chininwirkung (Hemmung der Invertasewirkung) von der Chininkonzentration.

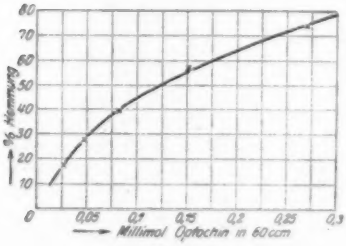

Fig. 3a.

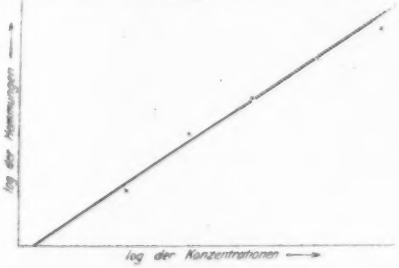

Fig. 3b.

Abhängigkeit der Optochinwirkung (Hemmung der Invertasewirkung) von der Optochinkonzentration.

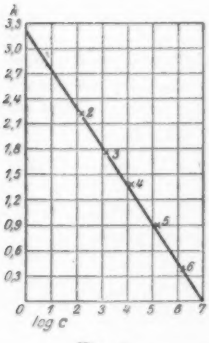

Fig. 4.

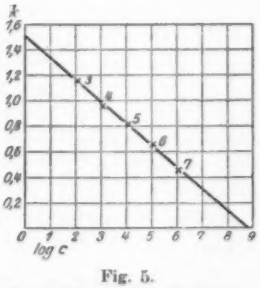

Fig. 5.

Abhängigkeit der Atoxylwirkung (Hemmung der Lipasewirkung) von der Atoxylkonzentration.

Abszisse: Logarithmus der Atoxylkonzentration C_0

$C_0 = 1{,}89 \cdot 10^{-7}$ g Atoxyl im Liter — $C_0 = 2{,}50 \cdot 10^{-7}$ g Atoxyl im Liter

Ordinate: Geschwindigkeitskonstanten der Lipasewirkung (Katzenserum).

menge ist und diese klein gegen die gesamte Chininkonzentration ist, was mit einem großen Grad von Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist. In der Tat sprechen auch alle anderen Beobachtungen dafür, daß wir es hier mit einem *Adsorptionsvorgang* zu tun haben. Die Giftwirkung ist vollkommen reversibel, sie erfolgt momentan, sie ist von der Temperatur unabhängig — alles Eigenschaften, die einem Adsorptionsprozeß zukommen.

Auf diese Weise war es also möglich, den Verlauf der Wirkung des Chinins auf Invertase genau zu verfolgen. Sehr interessant war es nun, anschließend die Wirkung des Chinins auch noch auf ein anderes Ferment zu untersuchen, wozu wir die *Serumlipase* gewählt haben, da wir über den Einfluß einer anderen Verbindung, des Atoxyls, auf dieses Ferment bereits genau orientiert sind (Fig. 4 u. 5). Bei dem System Atoxyl-Serumlipase wurde gefunden, daß bei der Zunahme der Giftkonzentration nach einer geometrischen Reihe die Geschwindigkeitskonstanten der Fermentwirkung nach einer arithmetischen Reihe abnehmen; es

liegt hier eine Beziehung vor, wie sie etwa im Weber-Fechnerschen Gesetz zum Ausdruck kommt.

Die Frage drängte sich von selbst auf, ob die Chininwirkung bei Lipase ähnlichen Gesetzen gehorcht wie bei Invertase, oder ob sich Beziehungen wiederfinden, wie sie im System Lipase-Atoxyl vorhanden sind. Die Untersuchung ergab, daß das letztere der Fall ist: die Abhängigkeit der Giftwirkung von der Giftkonzentration bei Chinin-Lipase zeigt nicht den Typ Chinin-Invertase, sondern den Typ Atoxyl-Lipase (Fig. 6, 7). Auf die Probleme, die in den mitgeteilten Befunden enthalten sind, soll hier nicht eingegangen werden; nur auf die praktische Auswertung der Tatsachen nach verschiedenen Richtungen hin soll hier kurz hingewiesen werden.

Es ist erstens klar, daß bei den einfachen Beziehungen zwischen Giftkonzentration und Geschwindigkeitskonstante der Fermentwirkung bei Kenntnis der Konzentrations-Hemmungskurve aus

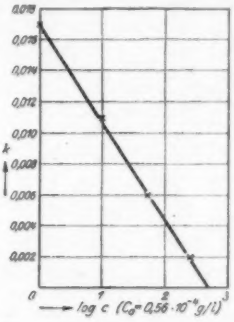

Fig. 6.
Abhängigkeit der Chininwirkung (Hemmung der Lipasewirkung) von der Chininkonzentration.
Abszisse: Logarithmus der Chininkonzentration C_0
$C_0 = 0{,}56 \cdot 10^{-4}$ g Chinin. hydrochlor. im Liter
Ordinate: Geschwindigkeitskonstanten der Lipasewirkung. (Menschenserum.)

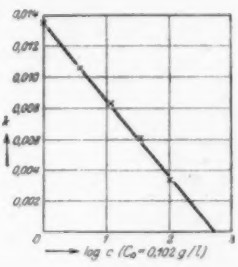

Fig. 7.
$C_0 = 0{,}102$ g Chinin. hydrochlor. im Liter
(Katzenserum).

Oberfläche verdrängt wäre) und die Wirkung des Chinins allein zur Geltung käme. — Anders liegen die Verhältnisse bei denjenigen Versuchen, bei welchen das Atoxyl einige Zeit mit dem Ferment stand und das Chinin nachträglich zugefügt wurde. In den meisten Versuchen findet man dann eine glatte Summierung der beiden Wirkungen und in allen ist die vereinigte Wirkung beider Verbindungen größer als die jeder einzelnen. — Diese Befunde kann man von kolloidchemischen Gesichtspunkten aus ohne Schwierigkeit analysieren.

Ein dritter Punkt, der von Interesse ist, ist der folgende. Das Chinin wirkt auf die Lipasen der Seren verschiedener Tierarten ganz verschieden: auf Menschenserumlipase bereits in sehr geringen Konzentrationen (etwa 0,01 mg in 60 ccm), auf Katzen- oder Meerschweinchenlipase erst in viel höheren, 100 bis 1000mal höheren Dosen. Es wurden nun Gemische von Menschen- und

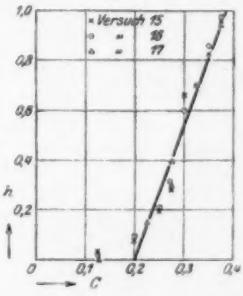

Fig. 8.
Vergiftung der Invertase durch *m*-Nitrophenol.
Abszisse: Konzentration (g-Mol pro Liter) der Lösung an *m*-Nitrophenol.
Ordinate: Hemmungsgrad der Invertasewirkung.

einer gefundenen Geschwindigkeitskonstante die zugehörige Giftkonzentration leicht zu berechnen ist. Auf diesem Wege ließ sich bis 0,002 mg Chinin in 10 ccm Flüssigkeit quantitativ bestimmen, wodurch es möglich war, verschiedene Probleme, wie die Verteilung des Chinins im Blute nach intravenöser Injektion desselben, die Permeabilität verschiedener Zellarten für Chinin u. ähnl. genau zu untersuchen.

Zweitens war es verlockend, die *kombinierte Wirkung verschiedener Gifte auf Fermentsysteme* zu studieren, wobei die Kombination von Chinin und Atoxyl auf Menschenserumlipase sehr geeignet war, da beide Gifte nach demselben Typus ihre Wirkung entfalten. Dabei ergaben sich sehr bemerkenswerte Resultate. Bei Versuchen, bei denen das Ferment zuerst mit Chinin stand und nachher Atoxyl zugefügt wurde, verhielten sich die Hemmungen so, als ob das Atoxyl gar nicht zur Wirkung gelangt wäre (durch das Chinin von der Katzenserum hergestellt (von demselben Lipasegehalt) und es wurde nachgesehen, wie die Hemmung der Lipasewirkung im Menschenserum durch die gleichzeitige Anwesenheit von Katzenserum beeinflußt wird. Die Versuche ergaben nun, daß die Wirkungen auf beide Sera sich einfach addierten: die Hemmung, die das Chinin auf Menschenserumlipase ausübt, wird durch das Katzenserum nicht beeinflußt. Die Resistenz von Katzen- bzw. Meerschweinchenserumlipase ist nicht übertragbar auf Menschenserumlipase.

Bis jetzt haben wir zwei Typen der Giftwirkung kennen gelernt. Einmal beim System Chinin-Invertase, wo der Verlauf der Giftwirkung nach dem Typus einer Adsorptionsisotherme vor sich geht, zweitens bei dem System Chinin-Lipase, wo die Vergiftung einem logarithmischen Gesetz, wie es namentlich in der Reiz-Physiologie beobachtet worden ist, gehorcht. Einen dritten, eben-

falls höchst wichtigen Typ stellt die Vergiftung der Invertase durch *p*- oder *m*-Nitrophenol dar. Er wird in der Fig. 8 graphisch dargestellt. Wir sehen, daß die Wirkung einen Schwellenwert hat; von diesem an ist die Hemmung proportional der Giftkonzentration: die Konzentrations-Hemmungskurve hat einen geradlinigen Verlauf. Die „Giftbreite" ist sehr eng; bereits die doppelte Höhe der eben wirksamen Konzentration bewirkt eine totale Hemmung der Invertasewirkung. Der Vorgang ist irreversibel; er ist von der Temperatur stark abhängig. Der Temperaturkoeffizient (für 10°) beträgt ca. 2. — Hier liegt wohl die Bildung einer unwirksamen Ferment-Gift-Verbindung nach stöchiometrischen Verhältnissen vor, wie sie neuerdings *v. Euler* und *Svanberg* beschrieben haben.

Diese kurzen Ausführungen mögen genügen, um die Wichtigkeit und vielfache Anwendbarkeit der Fermente bei dem Studium der Giftwirkungen zu beleuchten.

Literatur.

Nasse, Arch. f. d. ges. Physiol. *11*, 138, 1875. — *Ducleaux*, Traité de Microbiologie *2*, 379, 1899. — *v. Euler* u. *Svanberg*, Fermentforschung *3*, 330; *4*, 29. — *P. Rona* und *E. Bloch*, Biochem. Zeitschrift *118*, 185; *121*, 235 (1921). — *P. Rona* und *D. Reinicke*, ebenda *118*, 213. — *P. Rona* und *E. Back*, ebenda *111*, 166; *118*, 232.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Die Gültigkeit des Planckschen Strahlungsgesetzes. Die außerordentliche Bedeutung, welche das Plancksche Gesetz der schwarzen Strahlung für die moderne Physik hat, dürfte den Lesern dieser Zeitschrift ausreichend gegenwärtig sein. Bekanntlich beruht der durchschlagende Erfolg *Plancks* darin, daß es ihm, angeregt insbesondere durch die klassischen Messungen von *Rubens* und *Kurlbaum*, *Lummer* und *Pringsheim* und *Paschen*, im Jahre 1900 gelang, ein Strahlungsgesetz nicht nur aufzustellen, sondern auch theoretisch zu begründen, welches den derzeitigen experimentellen Resultaten innerhalb ihrer Versuchsfehler gerecht wurde, und welches die für gewisse Grenzfälle abgeleiteten Gesetze von *Rayleigh-Jeans* und *W. Wien* als Sonderfälle in sich schloß. Das Plancksche Gesetz, dessen Ableitung bekanntlich *Planck* selbst in verschiedenen Formen gegeben hat, und das *Einstein* auf eine besonders elegante Art aus der Bohrschen Atomtheorie abgeleitet hat, folgt in voller Eindeutigkeit aus der damals völlig revolutionären Annahme von „Energiequanten". Jede experimentelle Bestätigung des Strahlungsgesetzes ist also eine neue Stütze, jede experimentell sichergestellte Abweichung von ihm eine schwere Erschütterung des Baus der Quantentheorie. Es war daher zweifellos eine wissenschaftlich notwendige Tat, daß die Herren *Nernst* und *Wulf* (Verh. d. D. Phys. Ges. *21*, 305, 1919) sich der Aufgabe unterzogen, die Gültigkeit des Planckschen Strahlungsgesetzes an Hand des gesamten Beobachtungsmaterials einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Bei dieser Prüfung wurden folgende Gesetze als anderweitig ausreichend sichergestellt angenommen: das Wiensche Verschiebungsgesetz und die für sehr große, bzw. sehr kleine Werte des Produkts λT gültigen Grenzgesetze von *Rayleigh-Jeans* und *W. Wien*. Es wurde jedoch die Möglichkeit offen gelassen, daß das allgemeine Plancksche Gesetz:

$$E_\lambda = \frac{c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{ch}{k\lambda T}} - 1}$$

für mittlere Werte von λT $\left(\frac{ch}{k\lambda T}$ von der Größenordnung $1\right)$ nicht streng gültig sei, sondern vielmehr der Hinzufügung eines Faktors $(1+\alpha)$ bedürfe. Hierbei ist α als eine mangels einer theoretischen Grundlage aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial empirisch abzuleitende Funktion von λT bzw. besser von $x = \frac{ch}{k\lambda T}$ anzusehen, welche im Gültigkeitsbereich der genannten Grenzgesetze verschwindet. Ferner ist es zur empirischen Bestimmung dieser „α-Korrektion" notwendig, eine Annahme über den Zahlenwert der meist als c_2 bezeichneten Größe $\frac{ch}{k}$ zu machen. *Nernst* und *Wulf* legen als wahrscheinlichsten Wert $c_2 = 14\,300$ cm-Grad zugrunde. Bei der Durchrechnung des Beobachtungsmaterials kommen sie nun in der Tat zu dem Schluß, daß die Größe α in einem gewissen Wertebereich von $x = \frac{ch}{k\lambda T}$ relativ beträchtliche Werte, nämlich bis zu 0,072, annähme. Insbesondere werden benutzt Messungen von *Rubens* und *Kurlbaum*, *Lummer* und *Pringsheim* und *Paschen* und die neueren Messungen der Reichsanstalt. Da die für verschiedene Werte von x ermittelten α-Werte (s. Tabelle 1) einen glatten

Tabelle 1 (α-Werte).

x	$1+\alpha$	x	$1+\alpha$	x	$1+\alpha$
0	1,000	4,5	1,056	9,0	1,026
0,5	1,005	5,0	1,050	9,5	1,024
1,0	1,015	5,5	1,045	10,0	1,022
1,5	1,035	6,0	1,041	12,0	1,016
2,0	1,060	6,5	1,038	14,0	1,010
2,5	1,072	7,0	1,035	16,0	1,006
3,0	1,070	7,5	1,032	18,0	1,002
3,5	1,066	8,0	1,030	20,0	1,000
4,0	1,061	8,5	1,028		

Kurvenzug bilden, so glaubten sie, die Abweichungen vom Planckschen Gesetz nicht auf zufällige Meßfehler schieben, sondern das Plancksche Gesetz als in dem angegebenen Sinne verbesserungsbedürftig erklären zu sollen. Für diese Stellungnahme werden weitere Gründe experimenteller Natur, so der Verlauf der spezifischen Wärme des Wasserstoffs bei tiefen Temperaturen, herangezogen.

Die notwendige Folge eines Angriffs gegen das Plancksche Gesetz war der Ruf nach einer neuen experimentellen Prüfung, besonders im Hinblick darauf, daß die modernen Hilfsmittel und Methoden der Strahlungsmessung eine weit genauere Prüfung ermöglichten, als das früher möglich gewesen war. Daß Herr *Rubens* diese Prüfung ausgeführt hat, den Herr *Himstedt* auf dem diesjährigen deutschen Physikertag mit Recht als den „Altmeister der Strahlungsmeßkunst" bezeichnete, gibt dem Ergebnis der Prüfung pupillarische Sicherheit. (*H. Rubens* und *G. Michel*, Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. 1921, S. 590.)

Zur Prüfung des Strahlungsgesetzes stehen zwei Wege offen: die Messung von Isothermen oder von Isochromaten. Es ist bekannt, daß die Aufnahme von Isochromaten mit kleineren Fehlerquellen behaftet ist als die von Isothermen, da keinerlei Rücksicht auf die selektiven Eigenschaften der im Strahlengang befindlichen Medien genommen zu werden braucht und auch keine so hohen Ansprüche an die Kenntnis der Disper-

sion benutzter Prismen gestellt werden. *Rubens* und *Michel* entschieden sich daher für die Aufnahme von Isochromaten des schwarzen Körpers, und zwar bei Wellenlängen von 4, 5, 7, 9, 12, 16, 22 und 52 μ, und bei Temperaturen zwischen der der flüssigen Luft und 1400° C. Sie waren auf diese Weise imstande, eine Prüfung des Strahlungsgesetzes in dem ganzen, nach *Nernst* und *Wulf* von der α-Korrektion betroffenen Bereich von x-Werten vorzunehmen. Die Wellenlängen von 22 und 52 μ wurden als Reststrahlen von Flußspath und Steinsalz, die kürzeren Wellenlängen durch prismatische Zerlegung mittels Prismen aus Flußspath, Steinsalz oder Sylvin hergestellt. Als Strahlungsquellen dienten, je nach dem Temperaturbereich, vier schwarze Körper verschiedener Konstruktion. Die Energiemessung geschah mit einem Mikroradiometer, die Temperaturmessung der schwarzen Körper mit einem Widerstandsthermometer bzw. eingebauten Thermoelementen, welche von der P. T. R. auf das genaueste geeicht worden waren. Auf Einzelheiten der Versuchsanordnung, welche sich grundsätzlich in keiner Weise von der von *Rubens* bereits früher benutzten unterscheidet, kann hier nicht eingegangen werden. Selbstverständlich ist, daß alle nur denkbaren Fehlerquellen, und seien sie noch so geringfügig, aufgesucht und ausgeschaltet wurden, z. B. Proportionalitätsabweichungen der Ausschläge des Mikroradiometers, Schwankungen der Empfindlichkeit der Meßanordnung (z. B. infolge von Änderung der Absorption der Strahlung in der Zimmerluft), spektrale Unreinheit der Strahlung, Temperaturgefälle im Innern des schwarzen Körpers, welches eine Korrektion der gemessenen Temperatur nötig macht, Erwärmung von Blenden und Klappschirmen usw.

Die Auswertung der Meßreihen ging in folgender Weise vor sich: Innerhalb derselben Isochromate muß bei Gültigkeit des Planckschen Gesetzes die Größe

$$C = E\,(e^x - 1)$$

konstant sein, wenn E der bei der Temperatur T beobachtete Ausschlag des Mikroradiometers (als relatives Energiemaß), $x = \frac{c\,h}{k\,\lambda\,T}$ ist. Dagegen müßte nach *Nernst* und *Wulf* die Größe

$$C' = \frac{C}{1 + \alpha}$$

konstant sein, wobei α der Tabelle 1 zu entnehmen ist.

Es ergibt sich nun bei allen acht Isochromaten mit voller Klarheit das gleiche Resultat: Die C-Werte schwanken in allen Meßreihen innerhalb der Fehlergrenzen von ± 1,25 % völlig unregelmäßig um einen Mittelwert, ohne einen Gang mit x erkennen zu lassen. C ist also in der Tat, wie es das Plancksche Gesetz verlangt, als konstant anzusehen. Dagegen zeigen die C'-Werte ausnahmslos einen, von der jeweiligen Größe der α-Korrektion abhängigen, starken Gang mit x, während sie bei Gültigkeit der α-Korrektion konstant sein sollten. Als Beispiel sei in Tabelle 2 die Isochromate 9 μ (genau 8,994 μ) wiedergegeben. Das verschiedene Verhalten der C- und C'-Werte, wie es besonders durch die Abweichungen δC und $\delta C'$ vom Mittelwert dargestellt ist, ist evident. Das Resultat ist also *eine völlige Bestätigung des Planckschen Gesetzes innerhalb der heute erreichbaren Meßgenauigkeit.*

Wir dürfen uns also des Planckschen Strahlungsgesetzes von neuem, und noch mehr als bisher, als eines außerordentlich fest gesicherten Besitzes unserer Wissenschaft freuen. Die Kritik aber hat wieder einmal die schönste ihrer Aufgaben erfüllt: statt niederzureißen, hat sie geholfen aufzubauen und zu festigen. Ohne die am Planckschen Gesetz geübte Kritik wäre uns die schöne experimentelle Bestätigung dieses Gesetzes vermutlich zunächst nicht geschenkt worden, die heute als Muster einer auf das sorgfältigste und scharfsinnigste durchgeführten Präzisionsarbeit das Herz jedes Experimentalphysikers erfreuen muß.

W. Westphal.

Tabelle 2 (Isochromate 9 μ).

T abs.	E	C	δC	C'	$\delta C'$
377	10,72	73,41	— 56	69,39	— 153
476	26,62	73,90	— 7	69,21	— 171
577	49,62	74,28	+ 31	69,36	— 156
635	65,68	74,70	+ 73	69,69	— 123
678	78,07	74,73	+ 76	69,78	— 114
740	96,54	74,12	+ 15	69,53	— 139
844	130,51	73,71	— 26	69,93	— 99
923	158,49	73,75	— 22	70,57	— 35
1034	201,08	74,28	+ 31	71,70	+ 78
1126	235,51	73,88	— 9	71,73	+ 81
1235	279,56	74,32	+ 35	72,51	+ 159
1332	318,25	73,87	— 10	73,31	+ 239
1437	359,08	73,36	— 61	72,06	+ 114
1533	402,13	73,91	— 6	72,75	+ 183
1653	449,41	73,30	— 67	72,29	+ 137

Über die Konturen optischer Bilder. Bei allen optischen Präzisionsmessungen hat man bisher mit der Vorstellung von scharfen geometrisch-optischen Bildrändern gearbeitet, obgleich die Beugungstheorie längst erwiesen hat, daß es eine eigentliche Begrenzungslinie an optischen Bildern nicht gibt. Es bleibt also die Frage zu beantworten nach dem eigentlichen Wesen dessen, was dem Auge als Bildbegrenzung erscheint — eine Frage, die schon von *W. Struve*[1]), *Strehl*[2]) und besonders von *Hering*[3]) angeschnitten wurde, aber über die *qualitative* Antwort durch *Herings* Hinweis auf den „Grenzkontrast" hinaus nicht gefördert werden konnte. Beweisend und *quantitativ* fruchtbar läßt sich die Antwort erst gestalten, wenn man auf die Untersuchungen *Machs*[4]) und *Seeligers*[5]) über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize auf der Netzhaut zurückgreift. *Mach* formuliert seine Experimentalergebnisse über die von ihm zuerst entdeckten Kontrasterscheinungen an stetig verlaufenden Lichtverteilungen dahin, daß das Auge jede Abweichung der Lichtstärke eines Flächenpunktes vom *Mittel* der nächst umgebenden Intensitäten besonders heraushebt, indem es Stellen mit einer Überschußintensität erheblich *heller* empfindet als ihrer objektiven Intensität zukommt, Stellen mit Intensitätsunterbilanz dagegen zu dunkel sieht. Da die Abweichung der Intensität J im Punkte x, y von dem Mittel der nächst umgebenden Intensitäten proportional dem Ausdruck

$$\Delta J\,(x\,y) = \frac{\mathrm{d}^2 J}{\mathrm{d}\,x^2} + \frac{\mathrm{d}^2 J}{\mathrm{d}\,y^2}$$

ist, den ich in diesem Zusammenhang als *Kontrastfunktion* bezeichne, so kann man sagen, daß in einer Intensitätsverteilung immer dort helle oder dunkle

[1]) *W. Struve*, Über d. Einfl. d. Diffraktion an Fernrohren auf Lichtscheiben.

[2]) *K. Strehl*, Theorie des Fernrohrs.

[3]) *Hering*, Grundzüge der Lehre v. Lichtsinn, Berlin, Springer, 1920, § 32 u. f.

[4]) *Mach*, Die physiol. Wirkg. räuml. verteilter Lichtreize a. d. Netzhaut, Wiener Sitzungsber. 1865 bis 1868.

[5]) *Seeliger*, Die Vergrößerung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, Abh. d. k. b. Akad. d. W. München 1896.

Kontraststreifen gesehen werden, wo die Kontrastfunktion besonders starke negative oder positive Werte erreicht. In der Vermutung, daß alle gesehenen optischen Bildränder auf solche Kontraststreifen zurückgehen, habe ich durch Vergleich der von *Seeliger*[5]) angestellten Modellmessungen mit dem Verlauf der dazu berechneten Kontrastfunktionen zunächst feststellen können, daß Begrenzungslinien sowohl mit den Grat- und Tallinien als mit den Nullinien der Kontrastfunktion zusammenfallen *können*. Hieraus und aus dem allgemeinen Charakter der Kontrastfunktion an Beugungsbildern folgt, daß — wenn die Kontrastlinien für den Bildrand maßgebend sind — die Ausmessung eines optischen Bildes Resultate ergeben kann, welche je nach Aufgabe und Beobachtungsbedingungen um bestimmte Beträge größer oder kleiner sind als das geometrisch-optische Bild, gelegentlich aber auch mit ihm übereinstimmen können. Besonders interessant wird die Kontrasttheorie dadurch, daß aus der numerischen Berechnung der Kontrastfunktion sehr nahe beieinander liegender Bilder, wie sie bei Mikrometermessungen vorkommen, unter Umständen erhebliche *Verlagerungen* der Kontrastlinien gegenüber den isolierten Bildern folgen, welche im allgemeinen der Verlagerung der Isophoten *entgegengesetzt* sind. Da nun fast alle Mikrometermessungen auf Einstellung der Bildränder beruhen, so werden hieraus eine Reihe von Messungsfehlern numerisch ableitbar, deren tatsächliches Vorhandensein als Beweis für die Kontrasttheorie gelten muß. Nach den bisher durchgerechneten Beispielen gelang die numerische Darstellung der von *Aubert* gegebenen Messungsreihen der positiven und negativen Irradiation an schmalen hellen und dunklen Streifen, die Erklärung der Unabhängigkeit der scheinbaren Planetendurchmesser von der Objektivöffnung der Fernrohre, des Abstoßungsfehlers bei engen visuellen Doppelsternen, wie des ähnlichen von *Kostinsky* entdeckten Fehlers bei nahe benachbarten photographischen Bildern; die Ableitung der Differenz zwischen den Monddurchmesserwerten, welche aus Sternbedeckungen am hellen und dunklen Mondrand erhalten sind; die Darstellung der Erscheinung des Schwarzen Tropfens bei Planetendurchgängen vor der Sonnenscheibe und endlich die Ableitung der Abweichungen unter den Venusdurchmesserwerten, welche aus Heliometermessungen an der hellen Planetenscheibe, aus Messungen an der dunklen vor der Sonne stehenden Planetenscheibe und aus Messungen an der nahe bei der Sonne stehenden schmalen Sichel erhalten sind[6]).

Damit scheint die Brauchbarkeit der Definition optischer Bildbegrenzung auf Grund der Kontrasttheorie hinreichend erwiesen und an der Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung in der Theorie der Präzisionsmessungen ist nicht zu zweifeln. Auch für die physiologische Optik scheint sie von Bedeutung, insofern als sie aus verschiedenen hier nicht zu erörternden Gründen ein äußerst präzises Prüfmittel für nähere Erforschung der Netzhautfunktionen darstellt. *A. Kühl.*

In einer kurzen Abhandlung (Goethes physiologische Erklärung der Pflanzenmetamorphose als moderne Hypothese von dem Einfluß der Ernährung auf Entwicklung und Gestaltung der Pflanze, Beih. z. bot. Centrbl. *38*, 1921, Abt. I) beleuchtet *Lakon* die **Goethesche Metamorphosenlehre vom Standpunkt der modernen Physiologie.** Man hat bisher an diesem Werke meist in ziemlich einseitiger Weise die morphologische Hypothese von der Metamorphose pflanzlicher Organe gewürdigt. In neuerer Zeit hat dann *Hansen* darauf hingewiesen, daß die Goethesche Schrift auch recht beachtenswerte kausalphysiologische Gesichtspunkte zur Erklärung der Metamorphose enthält. Diese Dinge werden von *Lakon* einer eingehenden Analyse unterzogen, und er gelangt dabei zu dem Schluß, daß sich bei Goethe die Wurzeln zu ganz modernen Anschauungen über die Kausalität der Organbildung finden.

Wie bekannt ist, hat *Sachs* den Standpunkt vertreten, daß für die Anlage bestimmter Pflanzenorgane (Blätter, Blüten usw.) das Vorhandensein spezifischer, organbildender Stoffe notwendig ist, die nur in geringen Mengen anwesend zu sein brauchen, also nach Art der Fermente wirken. Diese Auffassung ist dann von *Goebel* und *Klebs* dahin modifiziert worden, daß es nicht auf bestimmte Stoffe, vielmehr auf das Verhältnis der Nährsalze zu den organischen Substanzen ankommt. So bedingt nach *Goebel* bei der rundblättrigen Glockenblume (Campanula rotundifolia) Überschuß an Nährsalzen die Bildung von Primärblättern, Überschuß an organischen Substanzen die Bildung von höher differenzierten Folgeblättern. In entsprechender Weise konnte *Klebs* für andere Objekte dartun, daß mit der relativen Zunahme der organischen Stoffe ein Übergang von rein vegetativem Gedeihen — Anlage von Laubblättern — zur Produktion von Blüten stattfindet. In dieser Richtung bewegen sich nun auch die Anschauungen Goethes. „Seiner Betrachtung liegt der Gedanke zugrunde, daß der Vegetationspunkt befähigt ist, sämtliche Blattformen der Spezies sowie die Blütenteile hervorzubringen, und daß die Entscheidung darüber, welche Blattform jeweils gebildet wird, von der Beschaffenheit der dem Vegetationspunkte zuströmenden Säfte abhängt." Goethe spricht von „wässerigten" und „verfeinerten" Säften, die wässerigten bewirken die Anlage von primitiven, die verfeinerten eine solche von komplizierteren Blättern und dann von Blütenorganen — je nach dem Grade der Verfeinerung. Diese „Verfeinerung" ist auf den Einfluß von Licht und Luft zurückzuführen. Es läßt sich der Nachweis erbringen, daß *Goethe* hierbei an die Kohlensäureassimilation, die ja unter Mitwirkung des Lichts und unter Verwertung der Kohlensäure der Luft organische Substanz schafft, denkt. So entspricht denn der Gegensatz von wässerigten und verfeinerten Säften offenbar dem Begriffspaar: Nährsalze und organische Substanzen. Es liegt an dem damaligen Stande der Forschung, wenn sich bei Goethe in der weiteren Ausgestaltung dieses Gedankens einige unklare Momente einschleichen, wenn beispielsweise für die Verfeinerung der Säfte eine Filtration durch die Gefäße mit herangezogen wird. Sehen wir aber von diesen historisch notwendigen Unzulänglichkeiten ab, dann tritt uns hier die moderne Anschauung schon in deutlich greifbarer Form vor Augen — einer von jenen zahlreichen Fällen, wo Goethe mit sicherem Takt Folgerungen aus zeitgenössischen Ergebnissen gezogen hat, die von der Wissenschaft erst viel später anerkannt worden sind. *P. Stark.*

[5]) Zahlenangaben *A. Kühl*, Wesen u. Veränderlichkeit d. Konturen opt. Bilder, Vortr. a. d. Vers. d. internat. Astr. Ges. Pots., Aug. 1921, Centr. Ztg. f. Optik u. Mechanik, 1921, Heft 25. Deutsche Opt. Wochenschr. 1921, Heft 36.

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW